R*

* LA LETTRE DE LA RECHERCHE DU **BRGM**

N°1 FÉVRIER 2015

ENJEUX DE RECHERCHE
La Terre, une mine d'idées pour les énergies bas carbone

PARTENARIAT
Le BRGM et l'ADEME : une mobilisation commune en faveur de la transition énergétique

INSTITUT CARNOT
Fabrice Dupros : un chercheur au Brésil dans le cadre du projet européen HPGCA

Source géothermale (Région de Taupo, Nouvelle-Zélande, 2012). © BRGM - Marc Urvois

GRAND ANGLE

► ***PAR* JEAN JOUZEL**

Directeur de recherche au CEA, membre du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

LES GÉOSCIENCES, CLÉS DE DÉVELOPPEMENT D'UNE ÉNERGIE DÉCARBONÉE

Le mix énergétique du futur réservera une part croissante aux énergies renouvelables et décarbonées. Source et espace de stockage d'énergie et de CO_2, le sous-sol est amené à jouer un rôle majeur…

Le 5e rapport du GIEC (2014) vient de le rappeler : le réchauffement climatique est aujourd'hui sans équivoque et sans précédent. Il nous impose de changer durablement de mode de développement, car l'origine anthropique du phénomène ne fait pas de doute. Les émissions de gaz à effet de serre – notamment issues de la consommation d'énergies fossiles – n'ont en effet cessé d'augmenter ces cinquante dernières années,

« Face aux défis énergétiques et climatiques, les sciences de la Terre ont un rôle prépondérant. »

en particulier au cours de la décennie 2000-2010. Si le scénario actuel des émissions perdure, le réchauffement moyen du climat mondial sera de l'ordre de 4°C d'ici la fin du siècle.

Face aux graves bouleversements qui pourraient en résulter, les pays participants à la conférence sur le climat de Cancun, en 2010, se sont fixés comme objectif de limiter le réchauffement à long terme à 2°C maximum par rapport au climat pré-industriel. Il repose sur une réduction de 40 à 70 % des émissions de GES d'ici 2050 pour arriver à zéro émission en 2100.

Répondre aux défis d'une telle ambition suppose un développement prioritaire des énergies décarbonées. Les géosciences y ont un rôle prépondérant, en contribuant directement à la généralisation de l'usage des énergies renouvelables. D'abord avec les géothermies de surface et profonde, dont le potentiel en termes de production de chaleur et d'électricité demeure sous-exploité. Le piégeage et le stockage de CO_2 dans le sous-sol devraient aussi contribuer à l'objectif 2°C, notamment en permettant d'optimiser l'exploitation de la biomasse. Le sous-sol constitue également un environnement privilégié pour le stockage d'énergie sous forme de gaz, d'air comprimé, de chaleur, de froid… en particulier issus de sources intermittentes tels le solaire ou l'éolien. Sécuriser l'approvisionnement en matières premières minérales, enfin, est un autre enjeu majeur, tant les besoins en métaux de base pour la construction de nouvelles infrastructures énergétiques, mais aussi en terres rares – promises à une utilisation croissante dans les technologies du futur – vont croître.

Grâce à son capital de connaissances, son expérience, son implication au sein des réseaux de recherche internationaux, le BRGM est l'un des établissements scientifiques aujourd'hui les plus à même de mobiliser les sciences de la Terre dans la lutte contre le réchauffement climatique. Son rôle est essentiel pour permettre à la France de tenir les objectifs – récemment formalisés par le projet de loi sur la Transition énergétique – qui visent une division par quatre des émissions de CO_2 et par deux des consommations d'énergie d'ici 2050. ■

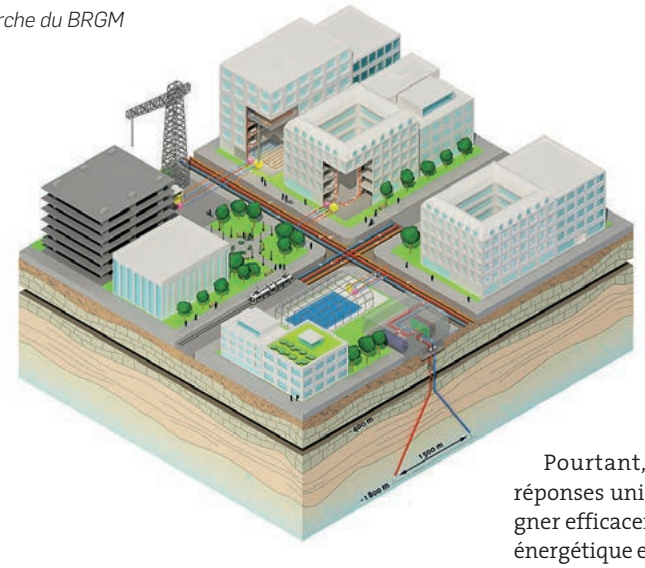
Géosciences pour une Terre durable
brgm

ENJEUX DE RECHERCHE |
LA TERRE, UNE MINE D'IDÉES POUR LES ÉNERGIES BAS CARBONE

Les changements globaux – notamment climatiques – et leurs conséquences environnementales et socio-économiques imposent à nos sociétés de reconsidérer leur modèle de développement, en particulier sur le plan énergétique. Le BRGM, qui compte parmi les services géologiques européens les plus impliqués en recherche, est un acteur de premier plan de la transition énergétique, avec de nombreuses activités impliquant une exploitation durable des potentialités du sous-sol.

► ***PAR* CATHERINE TRUFFERT** *Directrice de la Recherche du BRGM*

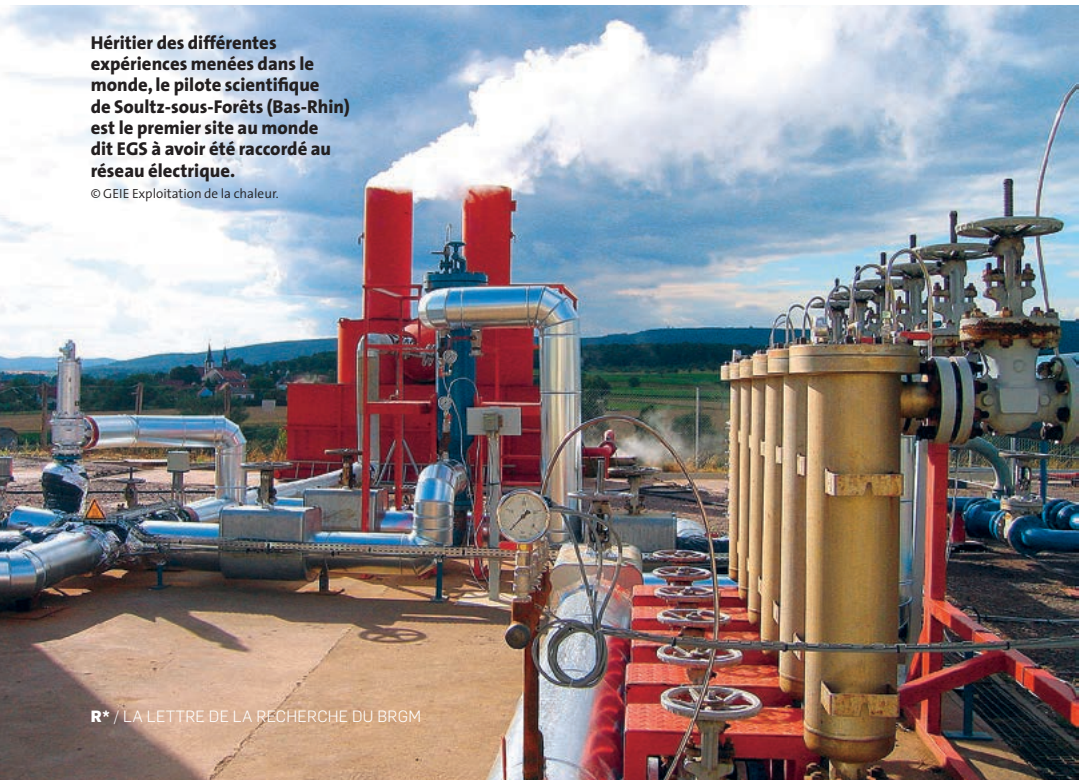
L'adoption du nouveau paquet énergie-climat lors du conseil européen les 23 et 24 novembre dernier impose une nette accélération de l'effort par rapport au plan précédent. Alors que l'objectif antérieur pour 2020 était une baisse de 20 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990, le nouveau ambitionne une baisse de 40 % à l'horizon 2030. Pour atteindre cet objectif, les pays membres devront réduire par deux les émissions liées à la production d'électricité en 2030 et tendre vers zéro en 2050.



En région parisienne, une opération type de géothermie permet de chauffer de 4 000 à 5 000 équivalent-logements.
© BRGM

Les atouts du sous-sol largement sous-mobilisés

Pour la France, qui compte moins de 10 % d'énergies fossiles dans la production d'électricité, cet objectif est peu contraignant. Les émissions des bâtiments et ceux de l'industrie quant à elles devront baisser respectivement de 37 % et de 34 % en 2030 par rapport à 1990. Enfin, à cette même échéance, 27 % d'énergie renouvelable devront contribuer à la consommation finale des 28 états membres. Mais force est de constater qu'à ce stade du déploiement de solutions technologiques pour une énergie bas carbone, les atouts du sous-sol sont largement sous-mobilisés.



Héritier des différentes expériences menées dans le monde, le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin) est le premier site au monde dit EGS à avoir été raccordé au réseau électrique.
© GEIE Exploitation de la chaleur.

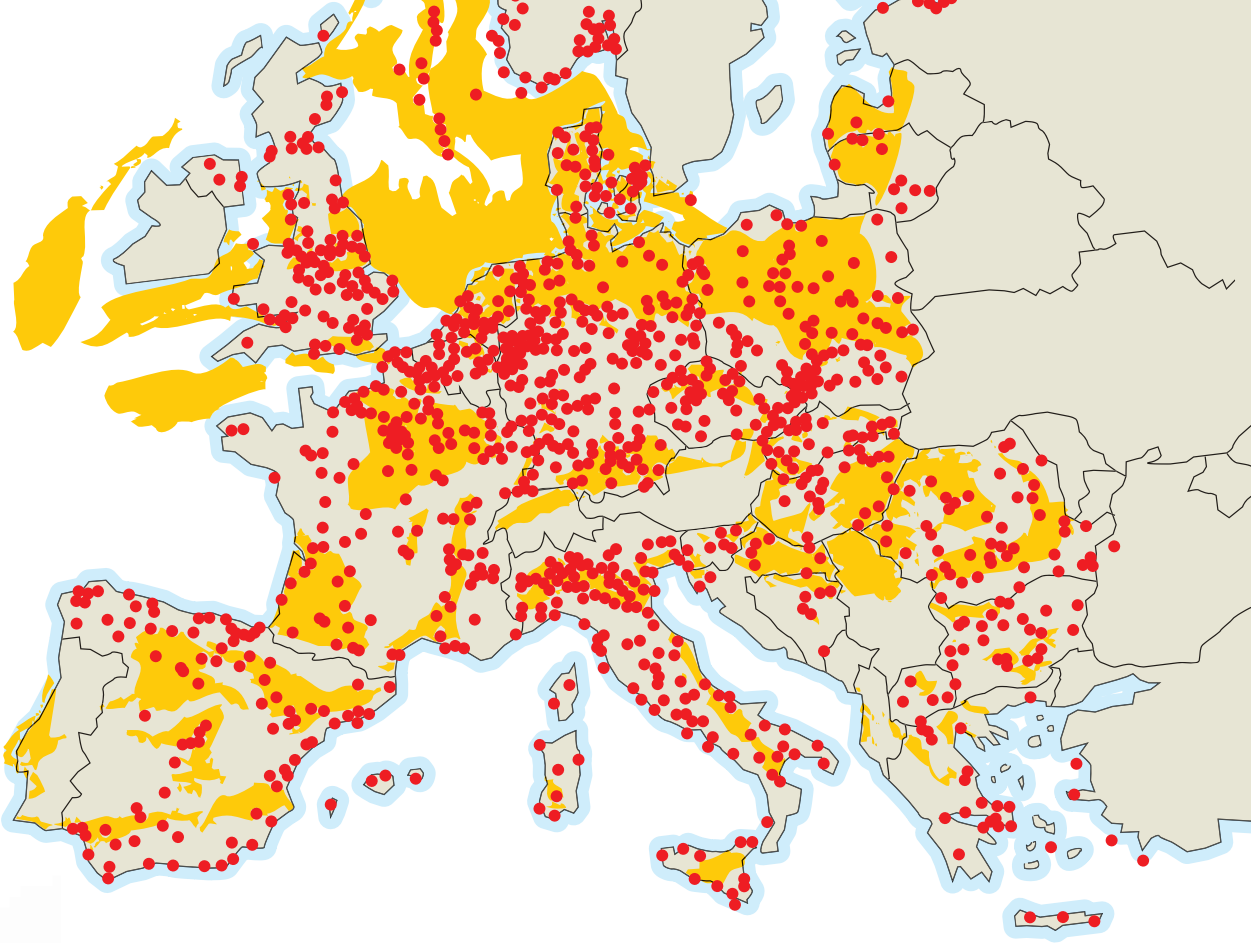
Pourtant, le sous-sol peut fournir des réponses uniques et précieuses pour accompagner efficacement et durablement la transition énergétique et écologique. En effet, l'exploitation des ressources naturelles qui y sont présentes (comme la chaleur, le froid ou les métaux indispensables à la construction d'infrastructures de production d'énergie renouvelable) ou l'utilisation de son espace pour y stocker de l'énergie (chaleur, froid ou électricité) voire du CO_2 (une des mesures d'atténuation du changement climatique) sont à encourager. Le développement de briques technologiques génériques clés pour l'usage du sous-sol et de ses ressources est un enjeu essentiel pour la conduite à maturité de filières d'avenir génératrices d'emplois, dont une bonne partie non-délocalisables. Au-delà de l'exploitation des ressources naturelles, l'économie circulaire pour les métaux mais également pour l'énergie fatale souvent issue de l'industrie est un sujet majeur pour répondre aux enjeux précités.

Un volume de stockage massif

Trois principaux marchés en géothermie (les pompes à chaleur géothermiques, les réseaux de chaleur géothermiques, la production d'électricité) présentent des développements contrastés en France (Métropole et Outre-mer) et à l'international pour des raisons qui ne sont pas toujours dominées par la technique. Les pompes à chaleur géothermiques affichent un recul sensible à l'échelle européenne depuis la crise en 2008. La raison principale en est le coût d'installation

Principales sources d'émission de CO_2 industrielles en Europe et bassins sédimentaires contenant des formations géologiques profondes propices au stockage de CO_2.
© Projet européen 6e PCRD EU GeoCapacity / FP6 EU Geocapacity project.

- Sources industrielles de CO_2
- Bassins sédimentaires propices au stockage de CO_2



« Le développement de briques technologiques génériques clés pour l'usage du sous-sol et de ses ressources est un enjeu essentiel. »

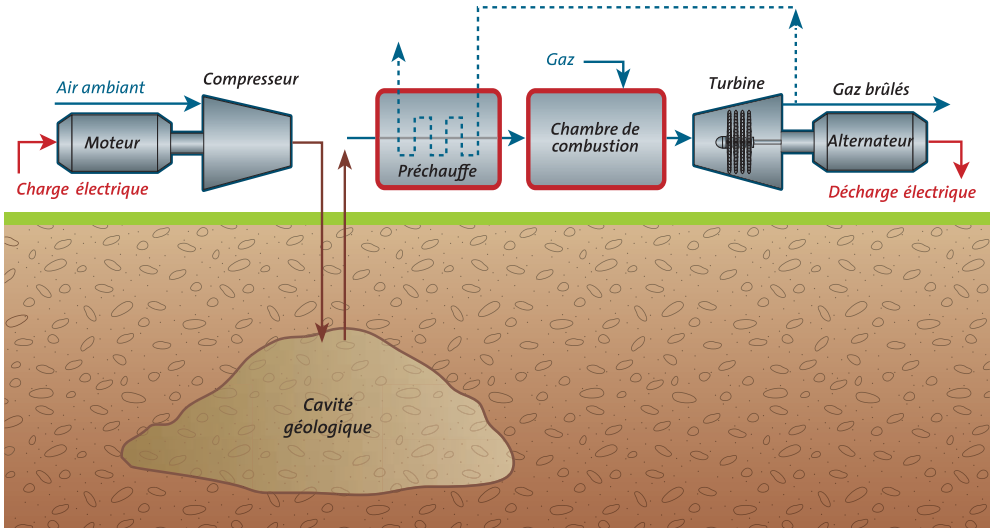
CATHERINE TRUFFERT
Directrice de la Recherche du BRGM

pour des logements individuels qui reste encore dissuasif comparé à des solutions dépendantes d'énergies fossiles. Le BRGM, qui dispose d'une plateforme d'essais des systèmes de pompes à chaleur géothermiques, s'emploie avec ses partenaires à lever les derniers verrous technologiques pour réduire les coûts. Pour les deux autres marchés, l'effort en recherche vise à généraliser les installations géothermiques et pour ce faire, la connaissance du sous-sol et des technologies à mettre en œuvre fait l'objet de beaucoup d'attentions.

Le sous-sol offre aussi un volume de stockage massif qui peut répondre aux besoins de stockage temporaire d'électricité (sous forme d'hydrogène, d'air comprimé ou d'autres vecteurs) produite par des énergies intermittentes issues du solaire ou de l'éolien. Permettant de stocker de fortes puissances avec des temps de décharge longs, le sous-sol offre des solutions complémentaires à celles proposées par l'électrochimique.

Le BRGM a mobilisé une grande part de sa recherche autour de l'utilisation du sous-sol. Avec l'accord-cadre qui le lie à l'Ademe *(voir article)*, en pilotant des projets de recherches internationaux, en conduisant ses propres programmes – qui associent le plus souvent des partenaires du monde industriel – en appuyant les pouvoirs publics sur les plans scientifique et réglementaire… l'établissement a développé une expertise qui en fait un interlocuteur privilégié des filières dédiées aux énergies.

Stockage souterrain d'électricité : le principe du CAES *(Compressed Air Energy Storage)* est de stocker de l'air comprimé en heure creuse pour le délivrer en heure de pointe. © ENEA CONSULTING.



Accompagner les filières

Le BRGM a récemment joué un rôle déterminant dans la création de Géodénergies, pôle d'excellence soutenu par le programme des Investissements d'avenir qui vise à favoriser et à accompagner le développement de trois filières consacrées à l'exploitation et à la gestion durable des ressources du sous-sol au service des énergies sans carbone : le stockage géologique de CO_2, le stockage d'énergie et la géothermie. Organisé autour d'un groupement d'intérêt scientifique, ce pôle réunit six établissements publics de recherche, douze industriels et deux pôles de compétitivité.

Toutes ces recherches et actions en faveur des énergies décarbonées intègrent systématiquement un volet socio-économique, notamment dans la mobilisation sociale pour les solutions proposées, et bien sûr la gestion des risques et impacts à court, moyen et très long terme. ■

LE BRGM SE MOBILISE POUR LES ÉNERGIES DÉCARBONÉES

Parce que le sous-sol doit contribuer, de manière croissante, au développement des énergies décarbonées, le BRGM conduit plusieurs programmes de recherche dédiés.
Sur le plan énergétique d'abord, avec l'exploitation de la géothermie basse énergie pour la production de chaleur et de froid, jusqu'à des solutions visant la production d'électricité. Ses travaux sur le stockage de CO_2 répondent à l'objectif de limitation des émissions de gaz à effet de serre, pour lutter contre le changement climatique.

Qu'elle soit de basse ou haute température, la géothermie va occuper une place de plus en plus importante dans la production de chaleur, de froid, voire d'électricité. Ici, forage du puits d'exploration ECOGI (Rittershoffen, Bas-Rhin). © BRGM

AVANCÉES DU BRGM | DES PISTES MULTIPLES POUR UNE GESTION DÉCARBONÉE DE L'ÉNERGIE

GÉOTHERMIE TRÈS BASSE-ÉNERGIE : UNE PLATEFORME SUPPORT POUR DES PROGRAMMES DE R&D

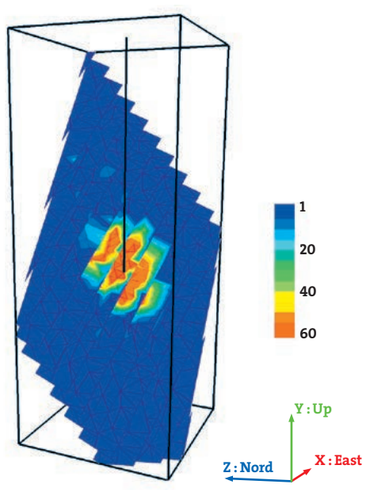
Créée en 2008 en association avec la Région Centre et l'Europe, la plateforme Géothermie du BRGM est destinée à tester les performances des échangeurs géothermiques enterrés. Elle intègre différents types d'échangeurs (horizontaux, verticaux, compacts) connectés à une machinerie thermodynamique capable de reproduire les sollicitations d'un ensemble pompe à chaleur-bâtiment. Elle dispose d'une station météo complète et d'une instrumentation de pointe (mesures de température *via* un réseau de fibres optiques…). La plupart des travaux qui y sont conduits le sont en partenariat avec d'autres acteurs de la recherche en France et à l'international, pour le compte de la filière industrielle.

SOLHYTHER : améliorer la précision des modélisations d'échangeurs géothermiques de subsurface (< 10 m)

Projet ayant bénéficié du financement d'un post-doctorat dans le cadre de l'abondement «BRGM Institut Carnot», Solhyther visait à améliorer la prise en compte des échanges thermiques et hydriques, afin de mieux dimensionner les échangeurs horizontaux en fonction des conditions de sol, de température, d'humidité, d'exposition, de revêtement de surface… En 2013, une fosse pédologique a été creusée puis instrumentée à différentes profondeurs et une station météorologique complète a été installée. Ce dispositif expérimental a permis d'améliorer la précision d'un modèle d'échanges thermiques et hydriques développé à l'aide du logiciel Hydrus® et de le valider en conditions réelles, apportant de précieux enseignements sur la surface requise pour les échangeurs horizontaux en fonction de leurs conditions d'implantation.

CORGEOSOLA : optimiser le fonctionnement des corbeilles géothermiques en fonction des conditions d'implantation

Projet soutenu par la Région Centre, Corgeosola est dédié aux corbeilles géothermiques implantées dans la zone non saturée (3 à 4 m). Il vise à étudier l'influence du sous-sol sur la performance des échanges, notamment en cas de combinaison d'énergies renouvelables (« recharge » du sol avec la chaleur excédentaire provenant de panneaux solaires, par exemple). Un dispositif expérimental à échelle réduite est en cours d'installation en halle technique, afin de mesurer l'effet du gel ou de l'évaporation de l'eau interstitielle autour d'un tuyau d'échangeur géothermique sur la performance de l'échange thermique.



Dans le cadre des recherches sur les ressources géothermiques EGS (haute température), la modélisation permet d'estimer l'augmentation de l'ouverture initiale des failles, après stimulation et fermeture du puits (ici dans les zones rouges, ouverture initiale multipliée par 60). © BRGM

VERTHYGE : étudier l'impact des écoulements souterrains sur la performance des échanges thermiques

Quelle est l'influence des hétérogénéités géologiques et/ou de l'écoulement des eaux souterraines sur les performances des échangeurs géothermiques verticaux ? Verthyge, qui s'est achevé fin 2014, s'est appuyé sur l'analyse de carottes prélevées sur 100 m de profondeur de la plateforme, des mesures géophysiques (diagraphies) dans les forages et des tests hydrogéologiques (pompage et traçage). Les températures du fluide mesurées (fibres optiques) à différents niveaux de l'échangeur et du sol ont été confrontées à ces données géologiques.

Un prélèvement dans la formation des calcaires de Beauce visant à créer un écoulement local a été réalisé simultanément à un test de réponse thermique (TRT) sur un échangeur vertical. Une méthode d'interprétation distribuée du TRT pour l'estimation de la distribution verticale des propriétés du milieu en a résulté.

À gauche, dispositif expérimental du projet SOLHYTHER installé sur la plateforme Géothermie du BRGM (au premier plan, instrumentation du sol sur 2 m de profondeur en thermocouples et tensiomètre ; au second plan, station météorologique). © BRGM
À droite, prélèvement d'un échantillon de sol pour mesure de ses propriétés thermiques en laboratoire. © BRGM

GECKO : augmenter le champ d'application des structures géothermiques

Projet partenarial subventionné par l'ANR (2011-2015), Gecko est dédié aux pieux de fondations de bâtiments équipés d'échangeurs (pieux géothermiques). Il vise à lever les verrous relatifs à l'évolution de la portance des fondations et des interactions avec la structure portée, afin d'appréhender la pertinence technico-économique de ces solutions et de les généraliser.

Les travaux du BRGM se focalisent sur l'analyse de cycle de vie de la solution ainsi que sur la réalisation d'un modèle de simulation thermique dynamique de champ de pieux qui pourrait, à terme, accompagner la conception et le dimensionnement des installations.

Le projet comporte une expérience sur un champ de pieux instrumentés. Il bénéficie de l'expérience acquise sur la plateforme, en particulier pour la mesure de température *via* un réseau de fibres optiques.

GÉOTHERMIE HAUTE-ÉNERGIE : STIMULATION HYDRAULIQUE ET COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES ZONES DE FAILLES

La stimulation hydraulique des puits géothermiques profonds (technologie EGS : *Enhanced Geothermal System*), qui vise à faciliter la circulation du fluide géothermique au sein de l'échangeur et à améliorer sa productivité, est une des clés du développement en Europe de la production d'électricité et/ou de chaleur d'origine géothermique (cogénération), à partir de réservoirs présentant des températures de 150 à 180 °C. Elle impose que soient mieux connus les impacts environnementaux de cette stimulation, notamment la sismicité induite au voisinage des puits d'injection et son effet spatial sur la perméabilité du réseau de failles constituant l'échangeur.

Une récente recherche a ainsi étudié l'influence, lors de stimulations hydrauliques, du comportement mécanique des zones de failles recoupant le puits sur la réponse hydraulique du réseau de failles 3D. Un modèle 3D, basé sur la méthode des éléments distincts et dans lequel les zones de failles recoupant le puits sont modélisées par des fractures numériques 2D, a été mis en œuvre.

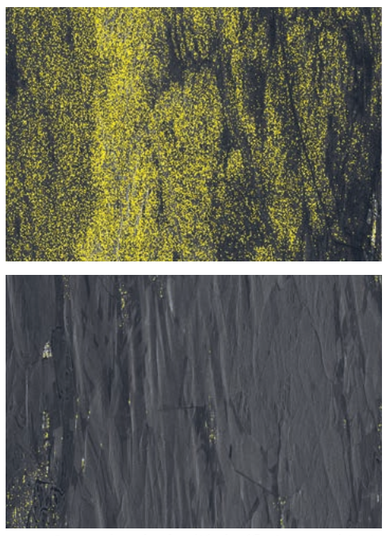
La principale avancée par rapport aux travaux antérieurs (à échelle macroscopique) est une compréhension beaucoup plus fine du comportement des zones de failles, grâce à une prise en compte plus précise de leurs hétérogénéités et de leur complexité structurelle. Le modèle permet de mieux identifier et mesurer les impacts de la stimulation tant en matière d'amélioration de l'injectivité des puits que de sismicité induite.

Cette compréhension accrue du type de comportement mécanique en fonction du type de faille et du contexte géologique, devrait permettre d'optimiser la productivité et la maîtrise du risque pour tout projet futur d'exploitation de la géothermie profonde en Europe.

STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE CO_2 : UN SUIVI SATELLITAIRE À LONG TERME DU SITE

Le BRGM, leader européen sur la problématique du captage-stockage de CO_2, a développé plusieurs programmes de recherche visant notamment la sécurisation des opérations et la surveillance du site à long terme. Le projet Amiral, soutenu par l'ADEME, est fondé sur l'utilisation de l'interférométrie radar à synthèse d'ouverture (InSAR), avec pour objectif, à partir d'images satellitaires, d'analyser les déformations du sol qui pourraient résulter des processus d'injection de CO_2 en profondeur.

Appliquée avec succès dans le désert algérien sur le site gazier d'In-Salah, la technique – fondée sur l'existence de points dont la radiométrie est stable dans le temps (pouvant se situer sur des rochers, des bâtiments… dits « réflecteurs persistants ») – doit être adaptée aux conditions de stockage rencontrées en Europe où le couvert forestier ou agricole et la nature du sous-sol, ayant pour conséquence des déformations de surface moindres, constituent deux obstacles. Faute de site existant, la démarche consiste à reprendre les images satellitaires d'In-Salah, et à dégrader artificiellement sur certains secteurs (simulant des secteurs agricoles) le nombre de réflecteurs persistants et la qualité des données (amplitude, phase). Cette dégradation, confrontée aux images non dégradées, doit permettre une approche visant la prise en compte de l'environnement végétalisé, et ainsi d'évaluer l'efficacité potentielle des deux méthodes d'amélioration proposées, déjà appliquées dans d'autres contextes (glissements de terrain…) : la méthode des « cornets réflecteurs » (avec implantation sur le terrain de réflecteurs métalliques orientés vers le radar) et celle des « réflecteurs diffus » (identification de petits ensembles de pixels de l'image ayant un comportement de phase commun et pouvant compléter un réseau de « réflecteurs persistants » insuffisant). ■



Comparaison des densités de réflecteurs persistants (points jaunes, superposés à une image d'amplitude radar) dans un contexte désertique (In Salah - en haut) et dans un contexte Européen (en bas). Une importante densité de points de mesure utilisables favorise la mise en œuvre des techniques interférométriques. © BRGM

STOCKAGE DE CO_2 | CGS EUROPE, UNE COORDINATION EUROPÉENNE

Coordonné par le BRGM, le projet **CGS Europe** (www.cgseurope.net) (7e PCRD), impliquant 34 instituts de recherche dans 28 pays, s'est achevé fin 2013. Il s'est construit sur les fondations de **CO_2GeoNet** (www.co2geonet.eu), le réseau d'excellence européen sur le stockage géologique du CO_2. Outre l'organisation de nombreux événements et la publication de divers rapports, il a permis de donner une envergure pan-Européenne à CO_2GeoNet, riche aujourd'hui de 25 membres issus de 17 pays. CO_2GeoNet a obtenu l'accréditation de la Convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) en tant qu'observateur, et contribuera à la conférence COP-21 à Paris en 2015.

GÉOTHERMIE | 1ER *TECHNICAL MEETING* DU PROJET EUROPÉEN FP7 "IMAGE"

Après le lancement en 2013 du projet européen Image (*Integrated Methods for Advanced Geothermal Exploration*), qui vise à développer une approche intégrée de l'exploration géothermale, le BRGM a accueilli en avril 2014 le 1er *Technical meeting*, qui a réuni 38 participants issus de 8 pays. (http://www.image-fp7.eu).

DISTINCTION | REMISE D'UN *« BEST PRESENTATION AWARD »* À PORTLAND

Au congrès GRC de Portland (USA) en octobre, l'exposé *"Toward a Continuum Geothermal Model to Explain Coexistence of Medium to High (100 to 250°C) Temperature Geothermal Systems in Martinique and Guadeloupe"*, consacré au projet « Complément d'exploration géothermique Martinique » (BRGM / CFG Services) a reçu un *« Best Presentation Award »*.

INTERNATIONAL | TRAÇAGE DES FLUIDES DE FRACTURATION HYDRAULIQUE

L'expansion de l'industrie du gaz non conventionnel génère des interrogations sur la contamination des ressources en eau. Pour identifier la présence des fluides de fracturation dans l'environnement, le BRGM et l'université de Duke (Caroline du Nord) ont travaillé à l'identification de traceurs élémentaires et isotopiques. Ces recherches ont fait la une du site web de Duke et de *Environmental Science & Technology* (http://pubs.acs.org/journal/esthag).

PARTENARIAT BRGM-ADEME | UNE MOBILISATION COMMUNE EN FAVEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'ADEME et le BRGM, qui sont liés contractuellement depuis 1987, viennent de signer un nouvel accord-cadre le 9 janvier 2015. Parmi les thèmes prioritaires identifiés, la géothermie, le captage-stockage de CO_2 et le stockage d'énergie électrique intermittente dans le sous-sol figurent en bonne place.

► ***PAR* DANIEL CLÉMENT** *Directeur scientifique adjoint de l'ADEME*

La collaboration entre le BRGM et l'Agence française de la maîtrise de l'énergie remonte aux années 1980, avec la création d'un institut mixte de recherche sur la géothermie et la mission d'accompagnement du déploiement de la filière confiée au BRGM.

Ce partenariat a perduré avec la création de l'Ademe en 1992. Celle-ci vise en effet le développement des énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, la prévention des pollutions et l'économie circulaire, thématiques qui recoupent les domaines de spécialité du BRGM. La géothermie, en particulier, a un rôle essentiel à jouer, en ce qu'elle constitue une solution durable de production de chaleur directe ou renouvelable mais également d'électricité. Plusieurs accords-cadres entre le BRGM et l'Ademe ont ainsi fixé des objectifs communs en faveur du développement de cette énergie. Ils sont déclinés dans des programmes qui visent l'amélioration des connaissances sur les ressources, le suivi de réseaux de chaleur, l'appui à la filière ou encore un aspect plus grand public avec le site internet www.geothermie-perspectives.fr. Ce site rassemble un ensemble d'informations depuis des cartes de potentiels jusqu'aux conditions d'installation d'une pompe à chaleur, en passant par tous les aspects réglementaires, techniques, etc. Le BRGM est un interlocuteur scientifique de premier plan également avec ses travaux en matière de captage-stockage de CO_2, processus incontournable pour accompagner les politiques visant l'objectif de division par quatre des émissions de gaz à effet de serre (le « facteur 4 »). Ses recherches sur des problématiques émergentes tel le stockage d'énergie électrique intermittente dans le sous-sol, sous forme de chaleur, d'hydrogène ou d'air comprimé répondent à ces mêmes enjeux.

En mobilisant les sciences de la Terre en faveur du développement des énergies décarbonées, de l'amélioration des connaissances jusqu'aux recherches appliquées, en passant par l'exploitation proprement dite des ressources, le BRGM est porteur et moteur d'innovation, et à ce titre un partenaire privilégié pour l'Ademe. Notre collaboration, où le débat n'est jamais absent, porte concrètement ses fruits en matière d'accompagnement des pouvoirs publics et des filières engagées dans la transition écologique et énergétique. ■

Géothermie Perspectives est l'espace institutionnel sur la géothermie, dont l'objectif principal est de fournir des informations validées et homogènes sur l'ensemble des aspects de la géothermie. © BRGM

INDICATEURS

100 000 tep
Énergie substituée par la filière géothermique en Île-de-France (hors PAC individuelles).

49 Gt CO_2-eq
émis en 2010 dans le monde

2000-2009
Décennie la plus chaude depuis 1850

TÉMOIGNAGE | *« La géothermie, une recherche pluridisciplinaire et un enjeu de société »*

Jacques Dentzer, doctorant de 26 ans, consacre sa thèse au potentiel géothermique profond du Bassin parisien.

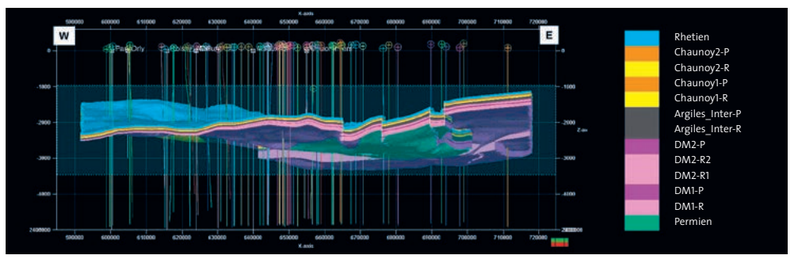
Quel est votre parcours ?
Jacques Dentzer : *Après une formation d'ingénieur des Mines, j'ai obtenu un Master 2 en Hydrologie-Hydrogéologie. J'ai entamé mon doctorat il y a deux ans. Inscrit à l'École doctorale GRNE de l'université Pierre et Marie Curie (Paris VI), je suis co-encadré par Sophie Violette, du Laboratoire de géologie de l'École Normale Supérieure, Dominique Bruel, du département Géosciences de l'École des Mines de Paris, et Simon Lopez, de la division Géothermie du BRGM.*

Quel est votre champ de recherche ?
J. D. : *J'étudie le potentiel géothermique du bassin de Paris selon une approche pluridisciplinaire. La finalité de mon travail est de permettre de mieux dimensionner l'exploitation des ressources géothermiques grâce à une meilleure compréhension du comportement hydrodynamique et thermique de l'objet naturel, le bassin de Paris.*

Quel appui votre environnement scientifique vous apporte-t-il ?
J. D. : *Je bénéficie de ressources bibliographiques importantes et je peux m'appuyer sur l'expertise géologique, hydrogéologique et thermique de mes co-directeurs et de leurs collègues. La rencontre et le travail avec des chercheurs issus d'horizons différents sont fondamentaux et sont une chance.*

Quelle est votre motivation ?
J. D. : *C'est une visite de la division géothermie du BRGM, il y a cinq ans, qui a été l'élément déclencheur. L'ancrage européen des recherches sur la géothermie est une clé de motivation. J'ai pu faire des stages ou étudier en Allemagne, en Suède, participer au projet européen de Soultz-sous-Forêt en Alsace. La géothermie me permet également d'intégrer les problématiques énergétiques de subsurface et de surface de mes deux formations à la recherche et à l'ingénierie, de la ressource à l'usager, avec des enjeux appliqués.* ■

Géométrie des formations du Trias du bassin de Paris suivant une coupe W-E (Projet CLASTIQ-2) © BRGM



Remise à Fabrice Dupros (au centre) d'un *« Best Paper Award »* en octobre 2014 à la maison de l'Amérique Latine à Paris (à gauche : P.O.A. Navaux (UFRGS) ; à droite : A. Goldman (USP). © BRGM

INSTITUT CARNOT brgm

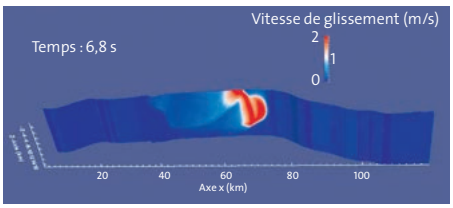
INSTITUT CARNOT | UN CHERCHEUR AU BRÉSIL, DANS LE CADRE DU PROJET EUROPÉEN HPGCA

Grâce au ressourcement Carnot, **Fabrice Dupros**, ingénieur en calcul scientifique au BRGM, a passé six mois à l'Université Fédéral du Rio Grande do Sul à Porto Alegre. Objectif : améliorer les performances des modèles de simulation utilisés en risques sismiques en s'appuyant sur de nouvelles architectures de calcul.

La labellisation « Institut Carnot » dont le BRGM bénéficie depuis 2006, consacre l'engagement de l'établissement, en France et à l'international, dans des actions de recherche partenariale avec les acteurs économiques. Elle lui permet de bénéficier, de l'ANR, d'un abondement financier destiné notamment à accompagner la mobilité internationale de chercheurs. Une mobilité de six mois (juillet à décembre 2013), a ainsi bénéficié à Fabrice Dupros dans le cadre du projet HPGCA ("*High Performance Computing for Geophysics Applications*"), un projet européen du 7e PCRD (2012-2014) qui associe plusieurs partenaires académiques et scientifiques français aux universités de Mexico (UNAM) et de Porto Alegre (UFRGS), et vise à renforcer la collaboration entre l'Europe et l'Amérique du sud.

Explorer la voie des processeurs embarqués

« *Les outils actuels de simulation en géophysique, domaine sur lequel le BRGM a une forte antériorité*, explique Fabrice Dupros, *requièrent de très importantes puissances de calcul et génèrent de grosses consommations énergétiques, freins à l'amélioration de leurs performances. Or nos partenaires brésiliens possèdent une bonne maîtrise des architectures basse consommation avec processeurs embarqués. Nous avons donc travaillé avec l'équipe du Professeur P. Navaux, l'INRIA et une PME française spécialisée, Kalray, afin de faire tourner nos applications sur ce type d'architecture.* » Des résultats très satisfaisants ont été obtenus, démontrant la pertinence de cette alternative à l'utilisation de processeurs généralistes. Trois publications en ont résulté.* Suite à cette première collaboration, trois étudiants brésiliens ont été accueillis au BRGM pour poursuivre ces travaux, deux en thèse, un autre comme assistant professeur.



Scénario du séisme de Marmara (7,3 Mw).

« *Ce type d'échange*, conclut Fabrice Dupros, *est clairement beaucoup plus efficace qu'une communication à distance, et nous a ouvert de nouvelles perspectives. Le BRGM et l'Université Fédéral du Rio Grande do Sul souhaitent encadrer une thèse en commun ayant pour thème la modélisation sismique sur architectures parallèles hétérogènes, permettant ainsi de pérenniser leur collaboration scientifique.* » ■

* > ***M. Castro, E. Francesquini, F. Dupros, H. Aochi, J.-F. Méhaut, and P.O.A. Navau*** *: On the Energy Efficiency of Seismic Wave Propagation Simulations on Low-power and High Performance Manycores: submitted to Parallel Computing (2014)*

> ***M. Castro, F. Dupros, E. Francesquini, J-F. Méhaut, and P. O. A. Navaux :*** *Energy Efficient Seismic Wave Propagation Simulation on a Low-power Manycore Processor. In : International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing : IEEE Computer Society, pp. 57-64 – Best Paper Award (2014)*

> ***E. Francesquini, M. Castro, P.H. Penna, F. Dupros, H.C. Freitas, P.O.A. Navaux, J.-F. Méhaut*** *: On the Energy Efficiency and Performance of Irregular Application Executions on Multicore, NUMA and Manycore Platforms. In : International Journal of Parallel and Distributed Computing (2014)*

INNOVATION

RECYCLAGE | REMETOX : RECYCLAGE DE MÉTAUX DES CARTES ÉLECTRONIQUES PAR TRAITEMENT À L'EAU SUPERCRITIQUE

Lauréat du concours mondial « Innovation 2030 » lancé par le Gouvernement, Remetox vise l'amélioration de la récupération des métaux, notamment « critiques », contenus dans les cartes électroniques. Associant au BRGM, le CNRS d'Orléans et la PME Terra Nova Développement, ce projet de recherche a permis l'élaboration d'un mode de traitement novateur fondé sur la mise en œuvre d'un processus d'oxydation hydrothermale supercritique pour décomposer la résine (matière organique) contenue dans les cartes. Ce procédé, qui permet de séparer les métaux de la fibre siliceuse « support », est moins polluant que les procédés classiques par déchiquetage et présente l'autre avantage de ne pas générer de scories, permettant donc une récupération totale des métaux. Un brevet est en cours de dépôt.

STOCKAGE | SELECO$_2$: STOCKAGE DE L'ÉNERGIE EN SOUS-SOL PROCHE

Le stockage d'électricité sous forme thermique, au sein de massifs rocheux du proche sous-sol, est une solution de plus en plus étudiée, notamment pour stocker l'énergie produite par les sources intermittentes de type solaire ou éolien. Dans le cadre du projet ANR SeleCO$_2$, le BRGM vient de déposer le brevet d'un procédé de stockage dans des granites fondé sur un géodoublet thermique et l'utilisation de CO$_2$ à l'état supercritique comme fluide caloporteur. Deux autres brevets ont également été déposés pour optimiser l'injection de chaleur à haute intensité et à haute température, jusqu'alors limitée à 100°C du fait de la nature du ciment utilisé pour colmater les échangeurs. Ils s'appuient sur le recours au carbure de silicium et à l'alumine en poudre, très résistants (jusqu'à 140° C) peu coûteux et présentant une conductivité thermique très élevée.

PUBLICATIONS | DES GÉOSCIENCES POUR UNE ÉNERGIE DÉCARBONÉE

En flashant ce QR Code, retrouvez 25 publications récentes du BRGM consacrées à l'utilisation des géosciences pour une énergie décarbonée.

Géosciences pour une Terre durable brgm

R* / LA LETTRE DE LA RECHERCHE DU **BRGM** / N°1 / FÉVRIER 2015

Publication du BRGM – 3, av. Cl.-Guillemin – BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – Tél. : 02 38 64 37 84 – Directeur de la publication : Pierre Vassal – Responsable d'édition : Dominique Quiniou – Rédaction : Jean-Louis Derenne – Conception et réalisation : EFIL – efil.fr (janvier 2015) – Dépôt légal à parution ISSN en cours – ISBN : 978-2-7159-2610-3 – Impression : JPA imprimeurs – Certifié PEFC / Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées. / pefc-france.org

IMPRIM'VERT PEFC 10-31-2606

EuroGeoSurveys – Liberté • Égalité • Fraternité République Française – INSTITUT CARNOT brgm